

## ANALISIS KERENTANAN LONGSOR PADA LERENG BERBASIS GRAFIK PARTICLE MOTION

**F Edwin Wiranata<sup>1</sup>, Urip N Prabowo<sup>2</sup>, Paulus Wisnu Anggoro<sup>3</sup>**

<sup>1,3</sup>Fakultas Teknologi Industri UAJY, Jl. Babarsari No 43 Yogyakarta 55281

<sup>2</sup>Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UNSOED, Jl. HR Boenyamin 708,  
Purwokerto, Central Java 53122

<sup>1</sup>Email: [edwin.wiranata@uajy.ac.id](mailto:edwin.wiranata@uajy.ac.id)

### ABSTRAK

Tampilan visual getaran tanah atau bangunan dapat dilihat secara langsung dengan perangkat mikrotremor. Perangkat mikrotremor terdiri dari perangkat lunak DATAQ, data logger dan seismometer yang dapat menampilkan bentuk sinyal secara langsung. Sistem seperti ini banyak digunakan dalam memonitor kejadian bencana. Pada bidang kebencanaan longsor akibat gempa bumi, analisis kerentanan dilakukan setelah melakukan pengukuran melalui proses pengolahan data dengan perangkat lunak Geopsy. Beberapa fitur dalam Geopsy seperti H/V, SPAC, dan Damping digunakan untuk memberikan gambaran kuantitatif, sementara Particle Motion memberikan tampilan visual arah gerak partikel. Rentang frekuensi yang digunakan pada penelitian ini adalah 1 – 15 Hz. Hasil penelitian menunjukkan arah gerak partikel di area barat lereng didominasi oleh arah barat laut-tenggara (NW-SE) sementara di timur lereng didominasi oleh pergerakan partikel ke segala arah. Pola pergerakan partikel di selatan lereng adalah barat laut-tenggara (NW-SE), timur laut-barat daya (NE-SW), dan timur-barat (E-W), sedangkan pergerakan partikel dalam arah vertikal didominasi oleh arah gerak kuadran II-kuadran IV.

Kata Kunci: particle motion, mikrotremor, lereng, frekuensi

### ABSTRACT

*The visual display of ground or building vibrations can be seen directly using devices that take microtremor measurements. Microtremor device consists of DATAQ software, data logger and seismometer which can display the vibration signal directly. This system is quite widely used in monitoring disaster events. In the landslide due to earthquakes, landslide vulnerability analysis is carried out after taking measurements, through data processing using Geopsy software. Some features in Geopsy, such as H/V, SPAC, and Damping, are used to provide quantitative values, while Particle Motion provides a visual display of the direction of particle motion. The frequency range used in this study is 1 - 15 Hz. The results showed the direction of particle motion in the western area of the slope was dominated by northwest-southeast (NW-SE) while in the east of the slope was dominated by the movement of particles in all directions. The pattern of particle motion in the southern area of the slope is northwest-southeast (NW-SE), northeast-southwest (NE-SW), and east-west (EW), while the movement of particles in the vertical direction is dominated by the direction of quadrant II - quadrant IV.*

*Key words: particle motion, microtremor, slope, frequency*

## 1 Pendahuluan

Set pengukuran mikrotremor terdiri dari perangkat lunak DATAQ, perangkat keras data logger, dan seismometer. Perangkat lunak DATAQ dalam set pengukuran mikrotremor merupakan perangkat yang digunakan untuk menampilkan sinyal yang terekam oleh seismometer secara real time. DATAQ tidak dapat diakses jika tidak terhubung dengan device atau perangkat keras data logger yang berfungsi memproses sinyal-sinyal listrik yang dihasilkan oleh sensor getaran pada seismometer. Untuk menampilkan sinyal yang sesuai dengan kebutuhan user, parameter-perekaman seperti *sampling rate* dan durasi perekaman menjadi *input* pada DATAQ. Sistem perekaman sinyal real time banyak digunakan dalam memonitor aktivitas gunung api dengan menempatkan perangkat keras pada gunung dan dimonitor pada stasiun pemantauan di kaki gunung api melalui perangkat lunak.

Selain itu, sinyal yang terekam dapat diolah setelah proses perekaman selesai. Pengolahan data setelah perekaman dapat dilakukan menggunakan perangkat lunak *Geopsy* yang difasilitasi oleh fitur pengolahan data, seperti *H/V*, *SPAC*, *Damping*, dan *Particle Motion*. Fitur *H/V* digunakan untuk memperoleh nilai frekuensi natural dan faktor amplifikasi tanah, fitur *SPAC* digunakan untuk memperoleh kecepatan gelombang geser pada tanah, fitur *Damping* memperlihatkan tingkat peredaman getaran, dan fitur *Particle Motion* menghasilkan grafik pergerakan partikel. Analisis kerentanan pergerakan tanah berbasis frekuensi natural dan zonasi indeks kerentanan seismik yang dihasilkan oleh perangkat lunak *Geopsy* sudah banyak dilakukan, tetapi analisis *particle motion* belum banyak menjadi perhatian para peneliti dan akademisi. Selain data kuantitatif, analisis ini menghasilkan data visual berupa grafik yang dapat menjadi suplemen informasi dalam menginterpretasi tingkat kerentanan longsor pada suatu lereng.

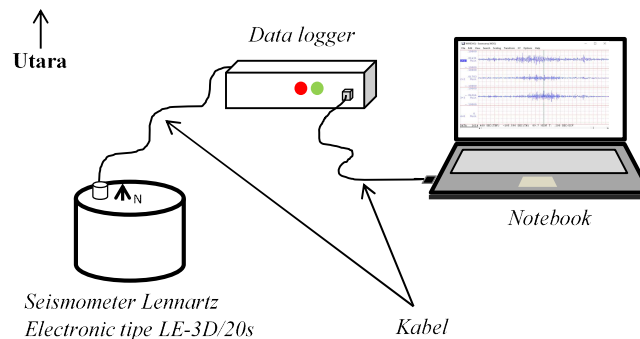
Analisis *particle motion* dapat diterapkan pada bangunan, seperti analisis kerentanan jembatan (Brahmantyo, dkk. 2016), plot pergerakan partikel jembatan (Maulidiya dan Rusli, 2017), dan analisis pergerakan partikel tanah (Prabowo, dkk, 2017). Hasil analisis *particle motion* memberikan gambaran visual arah gerak partikel tanah sehingga diharapkan dapat membantu para peneliti, konsultan lingkungan, dan perusahaan geoservis dalam memetakan area rawan longsor dengan lebih baik. Analisis pergerakan partikel pada tanah dilakukan pada lereng karena rawan mengalami longsor akibat getaran, misalnya gempa bumi. Data visual berupa grafik *particle motion* menampilkan arah pergerakan partikel pada objek akibat getaran ataupun gelombang yang merambat melalui medium itu. Getaran alami pada bangunan atau tanah dapat disebabkan oleh berbagai sumber, misalnya angin, getaran mesin, aktivitas makhluk hidup (Syahrudin, dkk, 2014). Zonasi frekuensi natural di suatu tempat dapat membantu menjelaskan fenomena resonansi struktur bangunan atau tanah yang dapat terjadi di daerah tersebut (Helbary, dkk, 2019). Ketika terjadi resonansi akibat kesamaan nilai frekuensi natural dengan frekuensi gempa bumi, bangunan atau tanah dapat mengalami guncangan hebat sehingga terjadi deformasi. Selain itu, faktor amplifikasi juga memberikan pengaruh besar terhadap indeks kerentanan seismik suatu bangunan atau tanah (Saaduddin, dkk, 2009). Faktor amplifikasi menggambarkan nilai penguatan gelombang saat melalui medium tertentu, misalnya lapisan permukaan tanah.

Pada lereng dengan kelas tanah yang lunak, faktor amplifikasinya juga besar (Partono, dkk, 2013). Kelas situs tanah lunak memiliki frekuensi di bawah 1,67 Hz (Zhao, 2004), yang artinya memiliki periode tinggi. Kelas tanah lunak berkorelasi dengan indeks kerentanan seismik yang tinggi (Mala, dkk, 2015). Tanah yang memiliki indeks kerentanan yang tinggi akan mudah mengalami deformasi akibat getaran sehingga perlu analisis mendalam terkait parameter-

parameter yang mempengaruhi deformasi serta resiko bencana yang ditimbulkannya. Grafik *particle motion* yang diperoleh melalui pengolahan di perangkat *Geopsy* memberikan gambaran arah pergerakan partikel yang ditimbulkan oleh *ambient noise* pada tanah sehingga penarikan kesimpulan terkait bencana deformasi tanah akibat gempa bumi dapat dilakukan secara lebih komperhensif.

## 2 Metode

Pengukuran dilakukan pada 30 titik di lereng dengan menggunakan set pengukuran mikrotremor berupa notebook *Asus A456U* dengan spesifikasi Intel Core i5-7200U 3,1 GHz 8 GB RAM dan *Seismometer Lennartz Electronic tipe LE-3D/20s*, dengan spesifikasi 0,05 Hz – 50 Hz dan *output voltage* 1000 V/m/s. Prinsip kerja alat ini adalah merekam getaran dalam arah horizontal (komponen utara-selatan dan timur-barat) dan arah vertikal. *Setting* pengukuran dapat dilihat pada gambar 2.1.



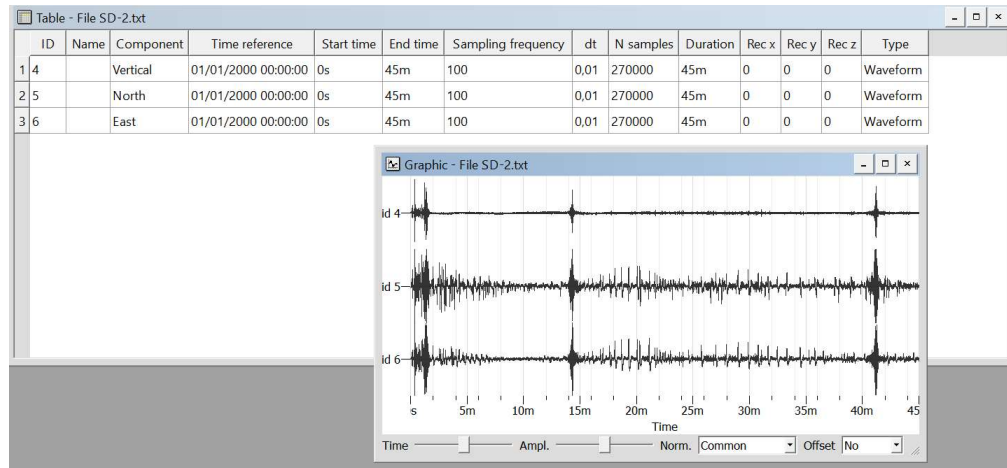
Gambar 2.1. *Setting* pengukuran mikrotremor menggunakan perangkat lunak DATAQ

Parameter pengukuran pada penelitian ini dijabarkan sebagai berikut:

1. Luas area penelitian:  $\pm 4000 \text{ m}^2$
2. Jumlah titik: 30
3. Jumlah lintasan: 4
4. Jarak antar titik:  $\pm 15$  meter
5. *Sampling rate*: 100
6. Durasi perekaman: 45–60 menit

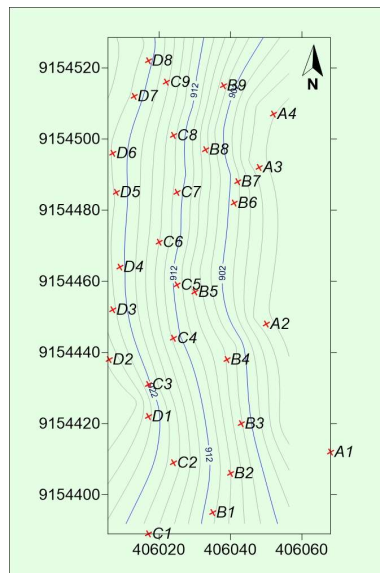
*Output* dari pengukuran ini adalah file dengan format *windaq.Document (.WDQ)*. Agar dapat diolah oleh perangkat *Geopsy*, format file diubah menjadi *text document (.txt)*. Perangkat lunak *Geopsy* menerima *input* file dengan format *text document* dan menampilkannya dalam bentuk sinyal 3 komponen seperti pada gambar 2.2. Setelah mengisi kolom *sampling frequency* dengan 100 untuk masing-masing komponen, durasi pengukuran akan otomatis terisi. Dari gambar 2.2, sinyal pertama merupakan sinyal arah vertikal yang menggambarkan respon getaran hanya dalam arah vertikal. Sinyal kedua menggambarkan getaran tanah dalam arah horizontal utara-selatan, sedangkan sinyal ketiga menggambarkan getaran tanah dalam arah horizontal timur-barat. Dalam analisis *particle motion* arah horizontal, sinyal yang digunakan adalah sinyal kedua dan ketiga sehingga akan dihasilkan grafik pergerakan partikel dua

dimensi, yaitu utara-selatan dan timur-barat. Untuk analisis *particle motion* arah vertikal, ketiga komponen sinyal digunakan.



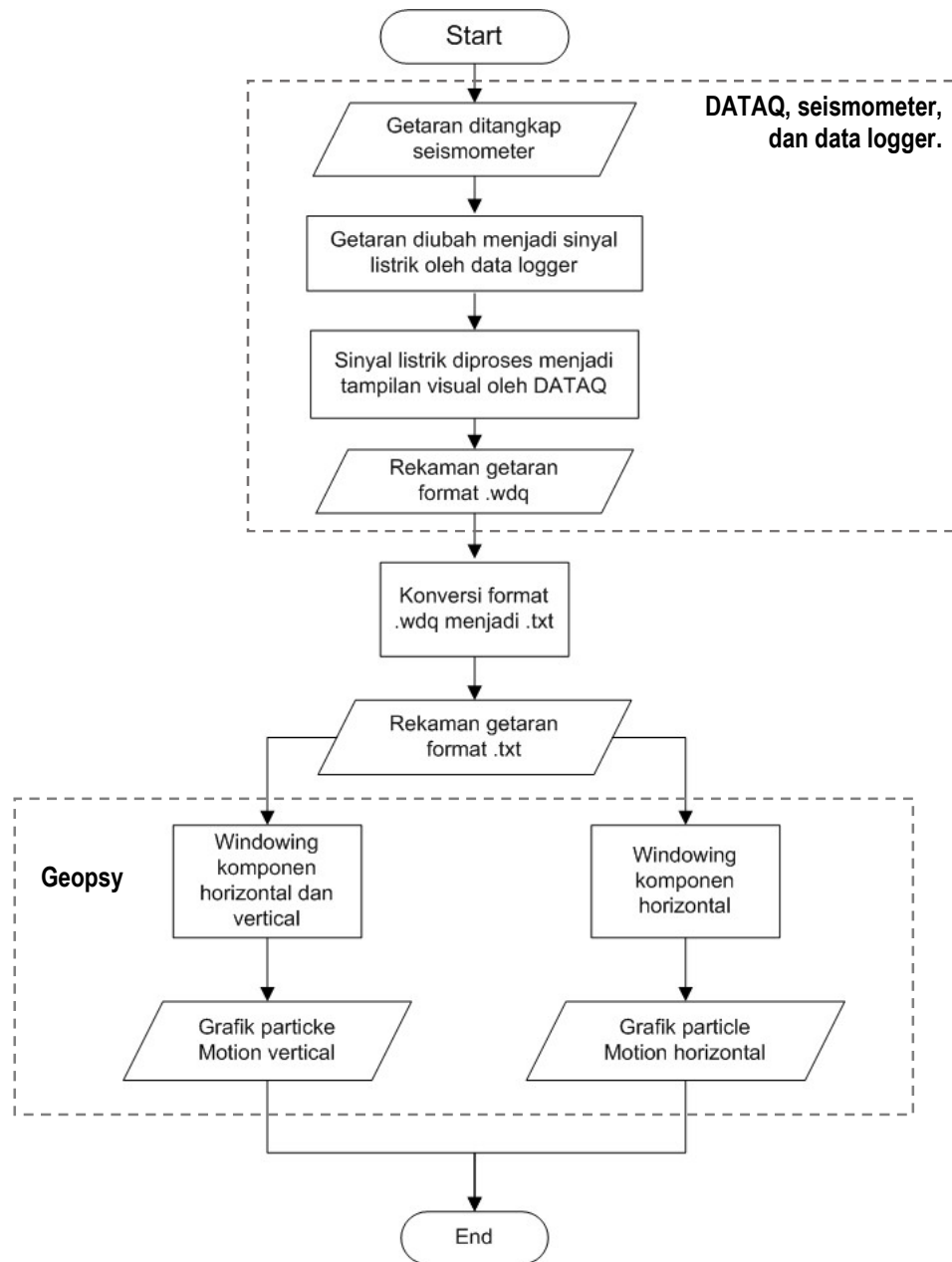
Gambar 2.2. Tampilan window *Table* dan grafik sinyal 3 komponen

Lokasi penelitian adalah lereng di Dusun Tritis, Kecamatan Samigaluh, Yogyakarta yang berada pada  $110^{\circ}08'52.0''$  BT sampai  $110^{\circ}08'53.55''$  BT dan  $-7^{\circ}38'57.11''$  LS sampai  $-7^{\circ}38'52.55''$  LS. Titik-titik pengukuran berdasarkan hasil survei awal ditentukan setelah mempertimbangkan kondisi di lapangan, seperti area yang terjal, pepohonan, dan perkebunan kecil milik masyarakat. Berdasarkan hal tersebut, titik-titik pengukuran dapat dilihat pada gambar 2.3 dengan menggunakan koordinat UTM (*Universal Transverse Mercator*) dengan satuan meter.



Gambar 2.3. Sebaran titik pengukuran

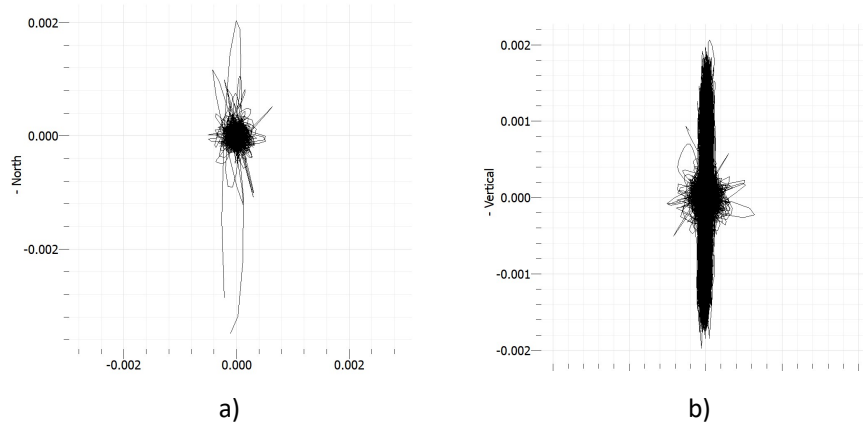
Alur pengukuran dan pengolahan dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. Flowchart penelitian

### 3 Hasil dan Diskusi

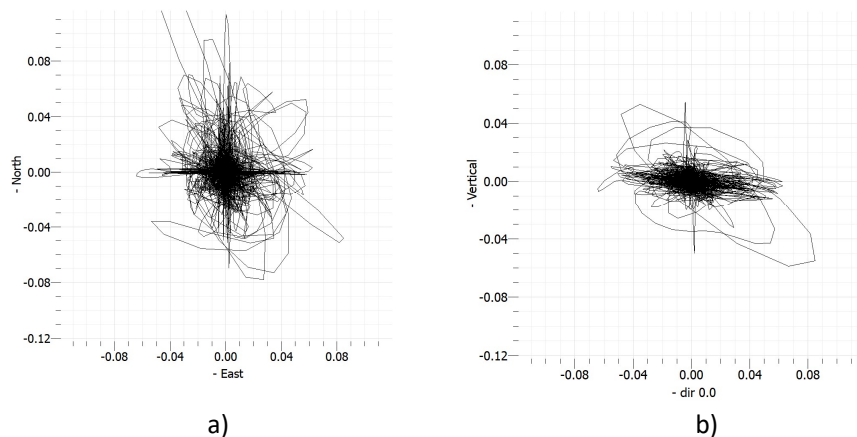
Dari analisis partikel motion, diperoleh beberapa titik yang menunjukkan grafik pergerakan partikel arah horizontal dan vertikal yang mengumpul dan nyaris membentuk lingkaran, seperti pada titik-titik pengukuran di line A. Sedangkan ada satu titik pada line A yang arah vertikalnya cukup terlihat, yaitu pada titik A3 yang grafiknya dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Grafik *particle motion* titik A3 arah horizontal (a) dan arah vertikal (b)

Pola bulatan pada gambar 3.1a memberikan informasi bahwa pergerakan partikel arah horizontal pada titik A3 tidak memiliki arah tertentu atau dengan kata lain ke segala arah dengan amplitudo yang relatif kecil. Hal ini ditunjukkan dengan ukuran lingkaran yang kecil, meskipun sewaktu-waktu terlihat pergerakan partikel yang besar dalam arah utara-selatan, tetapi jarang terjadi. Sedangkan dalam arah vertikal, seperti pada gambar 3.1b, pergerakan partikel terlihat cukup besar. Titik-titik lain yang memiliki kecenderungan pergerakan partikel ke segala arah adalah pada titik A1, A2, A3, A4, B3, B7, C4, C5, C6, C7, C9, D3, dan D7 dengan bentuk grafik yang nyaris lingkaran. Line C adalah line dengan titik pergerakan partikel ke segala arah dengan jumlah terbanyak dan tersebar di bagian utara lereng.

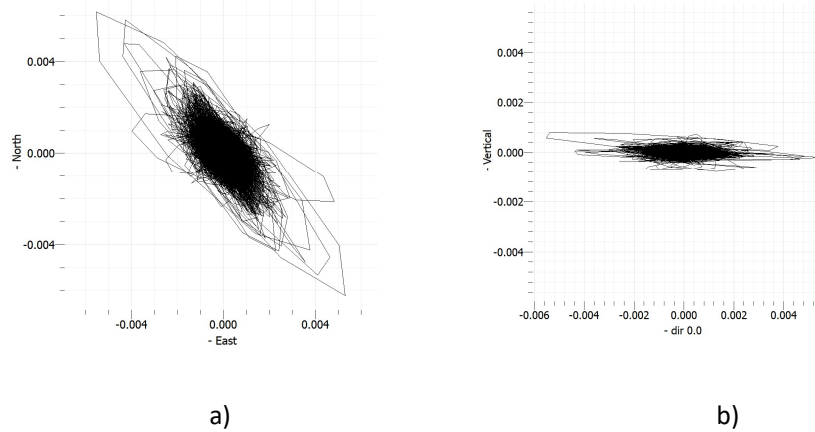
Ada titik yang pergerakan partikel arah horizontalnya adalah cenderung pada arah utara-selatan (N-S) dan timur-barat (E-W) dengan simpangan yang cukup besar, yaitu pada titik D4 seperti pada gambar 3.2.



Gambar 3.2. Grafik *particle motion* titik D4 arah horizontal (a) dan arah vertikal (b)

Bentuk grafik pada gambar 3.2a menunjukkan arah dominan partikel adalah utara-selatan (N-S) dan timur-barat (E-W), sedangkan pada arah vertikal, pergerakan partikel cukup kecil relatif terhadap pergerakan arah horizontal.

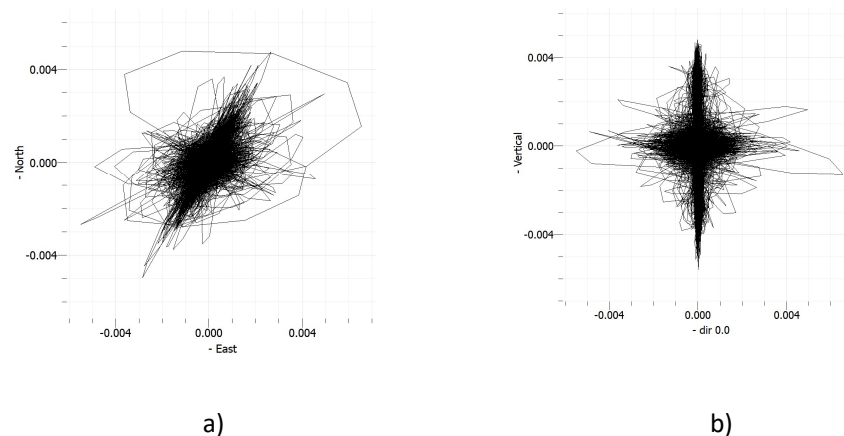
Selain itu, ada jenis pergerakan partikel dalam arah horizontal yang cenderung pada arah barat laut-tenggara (NW-SE), yaitu pada titik C3 seperti pada gambar 3.3.



Gambar 3.3. Grafik particle motion titik C3 arah horizontal (a) dan arah vertikal (b)

Pergerakan arah horizontal membentuk pola NW-SE sedangkan arah vertikal tidak membentuk pola tertentu dengan simpangan pergerakan yang relatif kecil. Titik-titik lain yang membentuk pola NW-SE adalah B2, B5, B8, C1, D5, D6, dan D8. Sudut yang dibentuk antara arah pergerakan partikel dengan sumbu x pada grafik bervariasi pada masing-masing titik.

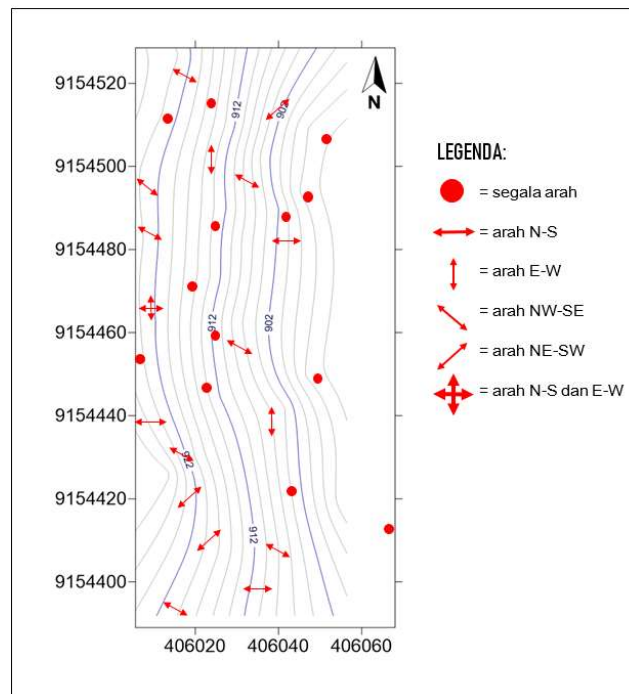
Jenis pergerakan selanjutnya adalah pada arah timur laut-barat daya (NE-SW), seperti pada gambar 3.4. Titik-titik yang pergerakan partikel horizontalnya adalah NE-SW adalah B9, C2, dan D1.



Gambar 3.4. Grafik *particle motion* titik B9 arah horizontal (a) dan arah vertikal (b)

Selain arah gerakan yang sudah disebutkan, titik-titik lain, seperti B1 dan B6 memiliki kecenderungan arah pergerakan timur-barat (E-W). Sedangkan titik B4 dan C8 memiliki kecenderungan arah pergerakan utara-selatan (N-S).

Gambar 3.5 menyajikan sebaran *particle motion* arah horizontal pada seluruh area lereng. Dari peta sebaran arah *particle motion* pada seluruh area lereng terlihat bahwa di sebelah barat area lereng dengan elevasi yang tinggi didominasi oleh arah gerak NW-SE sedangkan di sebelah timur dengan elevasi relatif rendah didominasi oleh partikel yang bergerak ke segala arah, ditunjukkan dengan simbol dot (lingkaran) pada peta. Grafik *particle motion* yang berbentuk lingkaran juga cukup mendominasi di area tengah lereng, sementara di selatan lereng didominasi oleh arah tertentu, yaitu sebagian arah NW-SE, NE-SW, dan E-W. Pola tertentu yang terbentuk biasanya berkorelasi dengan amplifikasi yang besar serta tanah yang lunak, meskipun nilai amplifikasi dipengaruhi oleh banyak faktor. Berdasarkan penelitian indeks kerentanan seismik di lereng ini, area selatan didominasi oleh indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) yang tinggi, yaitu  $>3,4$  (Prabowo, dkk., 2018). Dari survei di lapangan, ditemukan bahwa di area selatan memang didominasi oleh tanah lempung yang lunak.



Gambar 3.5. Sebaran arah *particle motion* pada lereng

Kecenderungan gerak partikel pada arah tertentu dipengaruhi arah datangnya gelombang dan tipe gelombangnya. Analisis gerak vertikal memberikan informasi terkait simpangan getaran partikel pada lereng dengan satuan volt sesuai dengan satuan amplitudo input sinyal pada proses pengolahan di perangkat lunak. Dari hasil yang diperoleh, tidak tampak adanya perbedaan simpangan yang signifikan pada arah vertikal. Selain itu, sebagian besar pola pergerakan adalah pada arah kuadran II-kuadran IV. Arah ini mengikuti geometri kemiringan lereng yang elevasinya semakin rendah ke arah timur. Hanya satu titik yang polanya berbeda, yaitu titik B3 dengan arah kuadran I-Kuadran III.



Peneliti, konsultan lingkungan, atau perusahaan geoservis dapat menggunakan analisis ini untuk memperoleh data gerak partikel yang dapat dijadikan parameter kerentanan longsor untuk analisis selanjutnya. Misalnya, korelasi antara gerak partikel dengan faktor amplifikasi, korelasi gerak partikel dengan indeks kerentanan seismik, atau korelasi gerak partikel dengan kelas situs tanah. Hasil data ini dapat dijadikan referensi para geologis untuk memetakan kelas situs tanah. Hasil penelitian juga dapat digunakan oleh badan mitigasi dalam menganalisis dan memetakan area rawan longsor pada lereng.

## 4 Kesimpulan

Grafik gerakan partikel pada lereng yang diperoleh dari pengolahan data di perangkat lunak Geopsy membentuk pola NW-SE di sebelah barat dengan elevasi yang tinggi, sementara pada elevasi yang rendah atau di sebelah timur lereng, arah gerak partikel cenderung ke segala arah. Gerak partikel ke segala arah juga banyak tersebar di bagian tengah lereng. Di sebelah selatan lereng, pola gerak partikel tidak ke segala arah tetapi memiliki kecenderungan membentuk pola tertentu. Pola-pola ini terdiri dari pola NW-SE, NE-SW, dan E-W. Ada kemungkinan pola-pola tertentu berkaitan dengan kelas tanah yang lunak di area selatan lereng karena tersusun atas tanah lempung yang lunak. Gerak partikel dalam arah vertikal didominasi oleh gerak partikel arah kuadran II-kuadran IV mengikuti geometri kemiringan lereng yang menurun dari barat ke timur, dari elevasi tinggi ke elevasi rendah.

Hasil dari analisis gerak partikel dapat digunakan oleh peneliti, akademisi, konsultan lingkungan, perusahaan geoservis, atau badan mitigasi milik pemerintah untuk melengkapi data kuantitatif dalam memetakan area rawan longsor.

## 5 Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Kepala Laboratorium, dosen, laboran dan segenap staf teknis di Laboratorium Geofisika Universitas Gadjah Mada (UGM) atas segala bentuk bantuan dan kerjasama, sehingga penelitian dapat dilakukan dengan baik dan lancar. Terima kasih kepada rekan-rekan yang membantu proses penelitian sampai pada penulisan hasil penelitian.

## 6 Daftar Pustaka

- [1] Brahmantyo A, Setiawan MR dan Wahyudi. 2016. Microtremor analysis to test the durability of Jumoyo Bridge, Central Java. New York, AIP Conf Proc 1708
- [2] Maulidiya S. dan Rusli. 2017. Penentuan Frekuensi Natural Dan Arah Pergerakan Gelombang (Studi Kasus: Jembatan Soekarno Hatta Kota Malang). Jurnal Mipa Unsrat Online, 6(1), 1-7. Dapat diakses melalui <http://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jmuo>
- [3] Prabowo UN, Amalia AF, dan Wiranata FE. 2017. Identifikasi Potensi Pergerakan Tanah yang Dipicu Gempabumi Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor. Wahana Fisika, 2(2): 1–11.
- [4] Syahrudin MH, Aswad S, Palullungan EF, Maria, dan Syamsuddin. 2014. Penentuan Profil Ketebalan Sedimen Lintasan Kota Makassar Dengan Mikrotremor. Jurnal Fisika Unnes, 4(1), 17-25.
- [5] Helbary RESF, Faragawy, KOE, dan Hamed A. 2019. Application of HVSr technique in the site effects estimation at the south of Marsa Alam city, Egypt. Journal of African Earth Sciences, 154, 89-100. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2019.03.015>

- [6] Saaduddin, Sismanto, dan Marjiyono. 2015. Pemetaan Indeks Kerentanan Seismik Kota Padang Sumatera Barat dan Korelasinya dengan Titik Kerusakan Gempabumi 30 September 2009. Proceeding Seminar Nasional Kebumihan ke-8, 15-16 Oktober 2015.
- [7] Partono W, Irsyam M, Prabandiani RW, dan Maarif S. 2013. Aplikasi Metode HVSR pada Perhitungan Faktor Amplifikasi Tanah di Kota Semarang. Media Komunikasi Teknik Sipil. 125–134.
- [8] Zhao J, Irikura, Kojiro, Zhang, Jian, Fukushima, Yoshimitsu, Somerville, Paul G, Asano, Akihiro, Saiki, Taketoshi, Okada, Hidenobu, Takahashi, dan Toshimasa. 2004. Site Classification for Strong Motion Stations in Japan using H/V response Spectral. The World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada, August 1-6, 2004, no. 1278.
- [9] Mala HU, Susilo A, dan Sunaryo S. 2015. Kajian Mikrotremor dan Geolistrik Resistivitas di Sekitar Jalan Arteri Primer Trans Timor untuk Mitigasi Bencana. Natural B, 3,1, 24 – 34.
- [10] Prabowo UN, Amalia AF, dan Wiranata FE. 2018. Local Site Effect of Soil Slope Based on Microtremor Measurement in Samigaluh, Kulon Progo Yogyakarta. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 997 (2018) 012007. Doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/997/1/012007>